

高炉セメントを使用した港湾RC構造物の塩害耐久性に関する研究

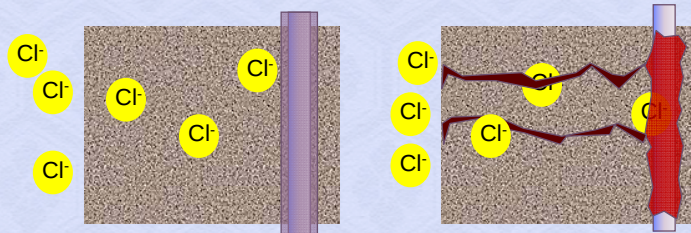
東京工業大学 理工学研究科
国際開発専攻教授
大即信明

1

- ◆ 高炉セメント(BFC)を使用した供用中の実港湾コンクリート構造物を対象に塩化物イオンの浸透性状を調査した。同一構造物内でも、海水面からの高さにより塩害劣化の程度は著しく異なるため、コアの採取位置と海水面からの距離で表面塩化物イオン量 C_0 、拡散係数 D_{ap} を整理し、BFC使用による遮塩性への寄与を検討した。その結果、BFCを使用した場合の C_0 は普通ポルトランドセメント(OPC)を使用した場合と比較し、満潮時海水面付近では大きく、高い位置では小さい値となった。BFCを使用した場合の D_{ap} は、海水面からの高さによらず比較的一定で、OPCを使用した場合の約3分の1であった。またかぶりを7cmとして劣化予測を行い、BFCを使用した場合とOPCを使用した場合では腐食ひび割れ発生までに20年の差があるという結果を得た

2

1. 背景 塩化物イオン浸透性状



塩化物イオンの浸透性状はフィックの第二法則より算出

$$C(x,t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) \right\} \quad \text{フィックの拡散方程式}$$

$C(x,t)$: 深さ x (cm)、供用年数 t (年)における塩化物イオン濃度(kg/m³)
 C_0 : 曝露表面における塩化物イオン濃度(kg/m³)
 D_{ap} : 塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm²/年)
 erf : 誤差関数

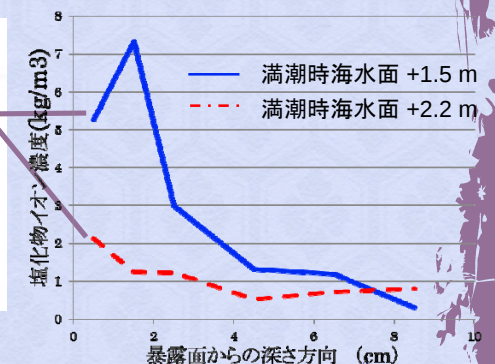
3

1.2 背景 高炉セメントの影響

- ◆ 現状では、海水面からの距離は考慮されていない。



コア採取状況



2 目的

- ◆ 実海洋環境にある供用中の高炉セメントコンクリート構造物から、塩化物イオン浸透性状を調査し、海水面からの高さや構造物内の位置によって表面塩化物イオン量・拡散係数を整理する。
- ◆ 上記から得た実験結果を普通ポルトランドセメントコンクリート製港湾構造物での実験データと比較検討する。

5

3. 実験概要 実港湾コンクリート構造物



消波設備

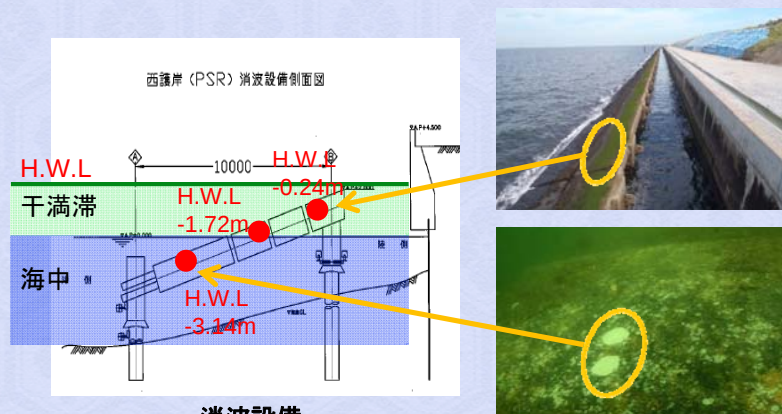
供用年数	20年
セメント	高炉セメントB種
水セメント比	0.49



出荷護岸内部 (Dock)

供用年数	15年
セメント	高炉セメントB種
水セメント比	0.48

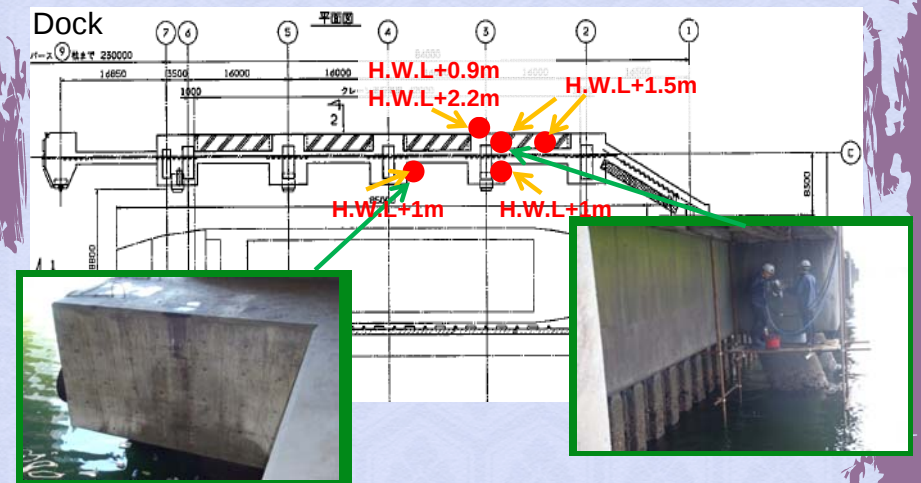
実験概要 実港湾コンクリート構造物



コアの採取位置

7

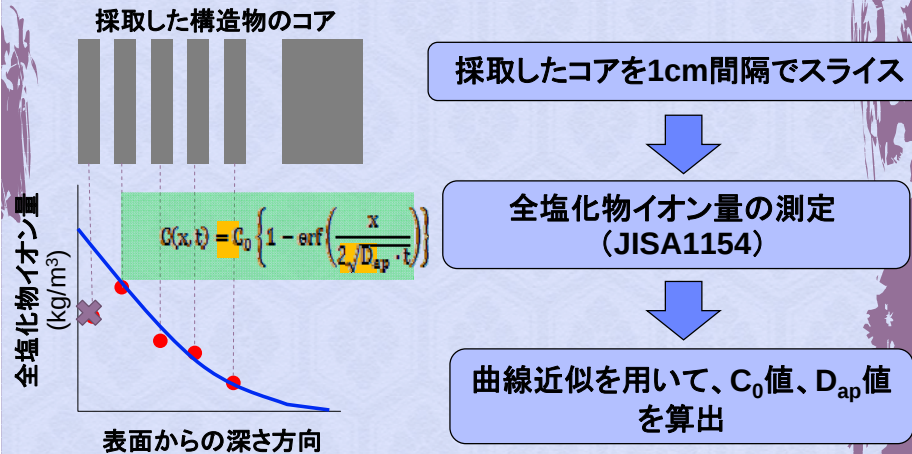
実験概要 実港湾コンクリート構造物



干潮時の海水面は満潮時の-2m

8

実験概要 C_0 値、 D_{ap} 値の算出方法



9

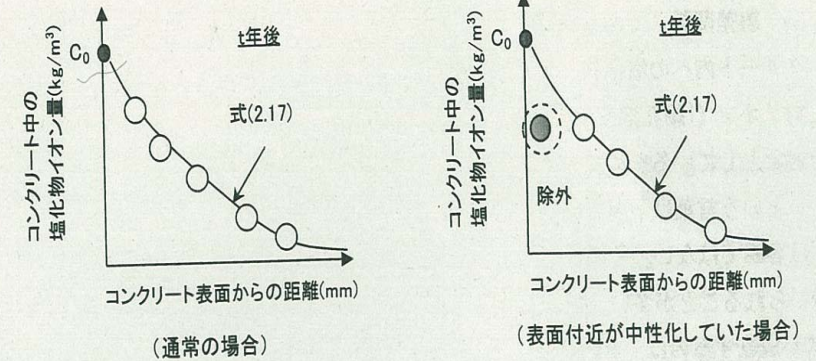
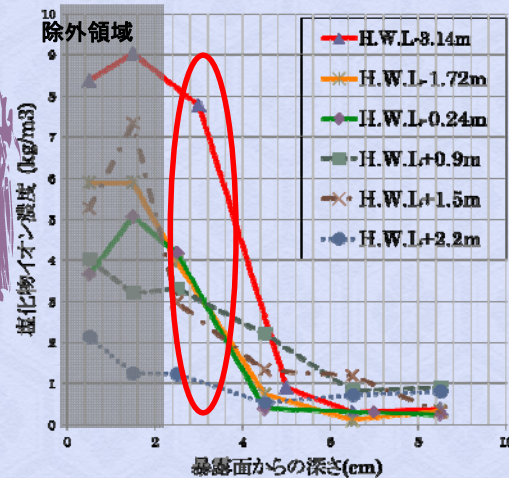


図-2.6 C_0 および D_{ap} の算出方法
(○：実測値，曲線：式(2.17)による回帰式)

港空研：山路氏独論より

4 塩化物イオン浸透性状



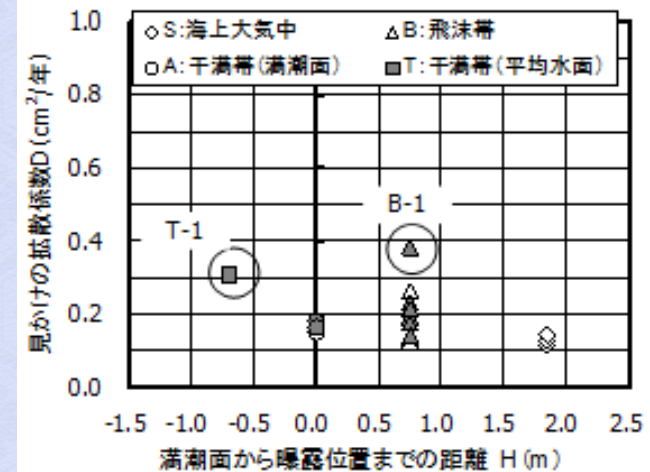
•表面付近の塩化物イオン濃度は海面からの高さが高くなるに従って、小さくなっている。

•Dockから採取したコアは暴露面から深くなるにつれ、塩化物イオン量がなだらかに小さくなっていった。一方で、消波設備から採取したコアは暴露面から深くなるにつれ、塩化物イオンが急激に小さくなった。

点線： Dock
直線： 消波設備.

11

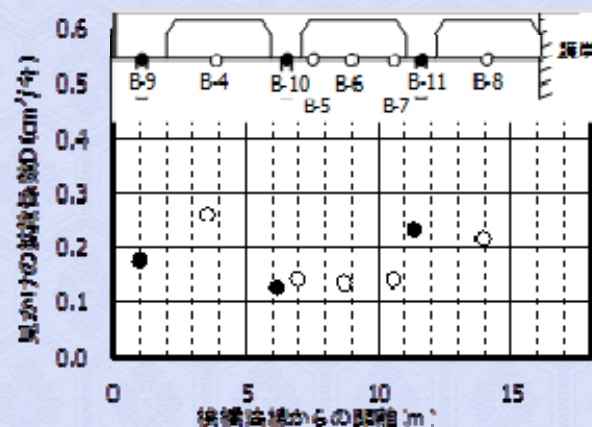
5.1 OPCを用いた実験結果との比較



D 値の高さ方向の分布(OPC供試体)

12

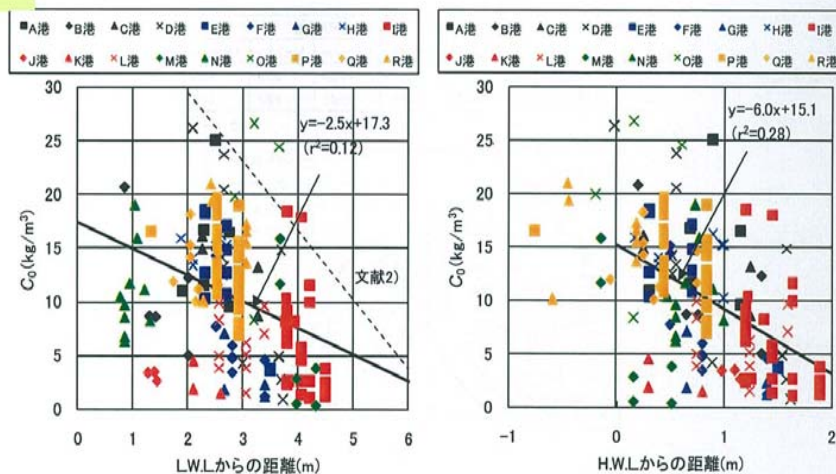
5. 1OPCを用いた実験結果との比較



D値の法線直角方向の分布(A・Bライン)OPC供試体

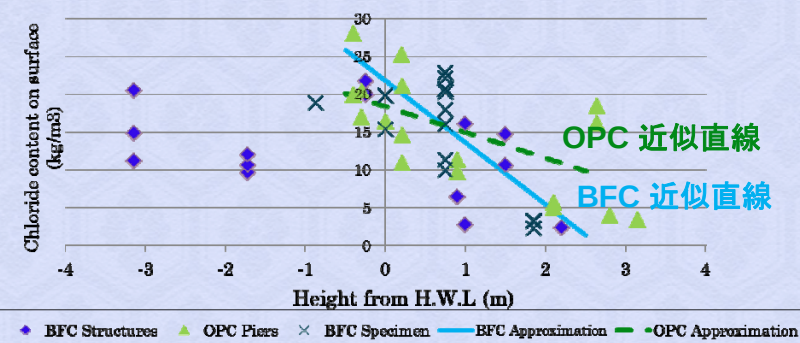
5. 1OPCを用いた実験結果との比較

- OPC製栈橋
 - ◆ 供用年数 : 約30年
 - ◆ W/C : 約0.5
- BFC構造物:約15年および20年
 - W/C: 0.49, 0.48
- BFC供試体
 - ◆ 暴露期間 : 2年間
 - ◆ W/C : 0.56



港空研：山路氏独論より

5.2 OPCとBFCでの 表面塩化物イオン量 C_0 値の比較 コンクリート標準仕様書 飛沫帯13kg/m³



BFCを用いた場合の C_0 値はOPCを用いた場合よりも海水面付近で大きく、逆に海水面から高い場所では C_0 値は小さくなった。

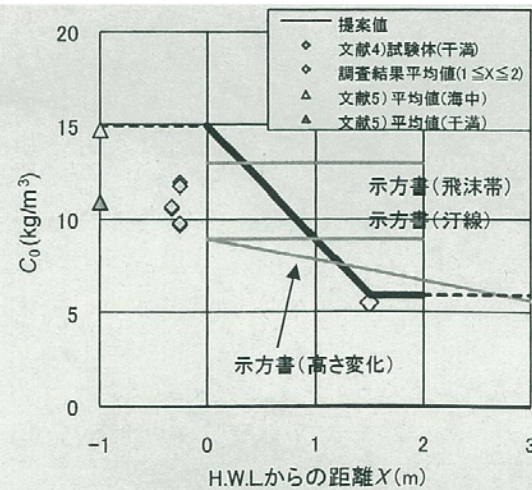


図-6.11 今回提案する C_0 の設定値
港空研：山路氏独論より

5.3 OPCとBFCでの 拡散係数 D_{ap} 値の比較

◆ OPC

$$\log_{10} D = -3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5$$

$$\text{◆ } W/C=0.5 : D=1.33 \text{ cm}^2/\text{year}$$

◆ BFC

$$\log_{10} D = -3.0(W/C)^2 + 5.4(W/C) - 2.2$$

$$\text{◆ } W/C=0.5 : D=0.56 \text{ cm}^2/\text{year}$$

◆ コンクリート標準示方書より

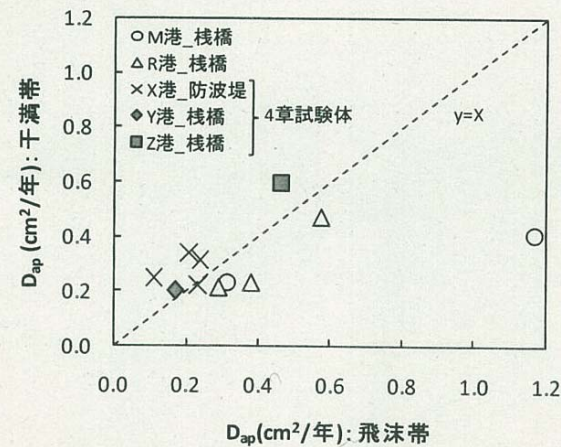
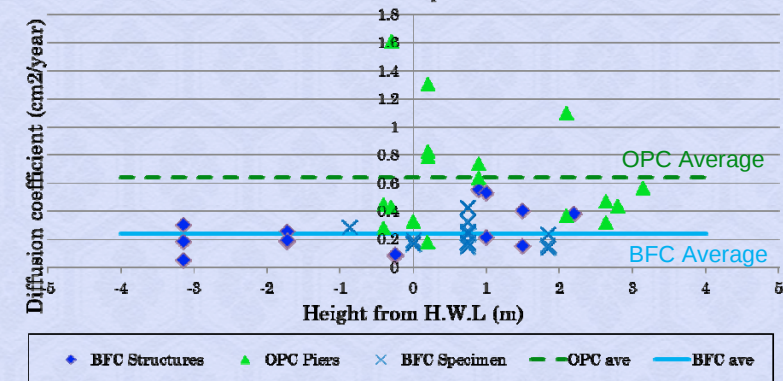


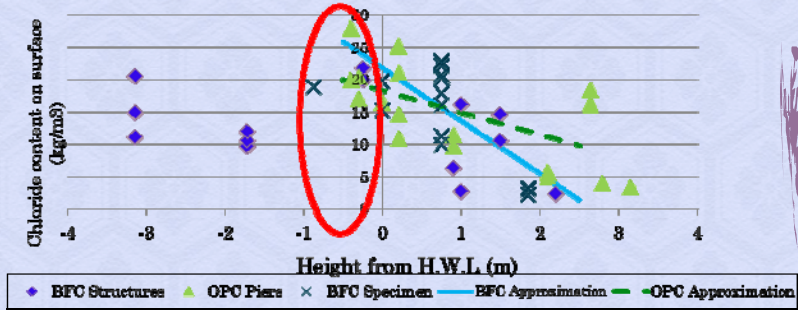
図-7.12 飛沫帯および干満帯における D_{ap} の比較
港空研：山路氏独論より

5.3 OPCとBFCでの 拡散係数 D_{ap} 値の比較



BFCを用いた場合の拡散係数 D_{ap} 値とコア採取の位置との関係性はなかったが、OPCを用いた場合の D_{ap} 値よりも小さく約1/3であった。

5.4 OPCとBFCを用いた場合での劣化予測の比較



構造物	OPC製 栈橋	高炉セメント製 港湾構造物	BFC製 供試体
表面塩化物イオン量 (kg/m³)	20.42	11.95	18.859
拡散係数 (cm²/year)	1.61	0.19	0.282

21

5.4 OPCとBFCを用いた場合での劣化予測の比較

- ◆ コンクリート構造物の長期性能シミュレーションプログラム“LECCA 2” (JCI) を使用
- ◆ 解析条件は以下の通り

かぶり厚さ: 70mm、鉄筋径: 20mm、内在塩分量: 0 kg/m³

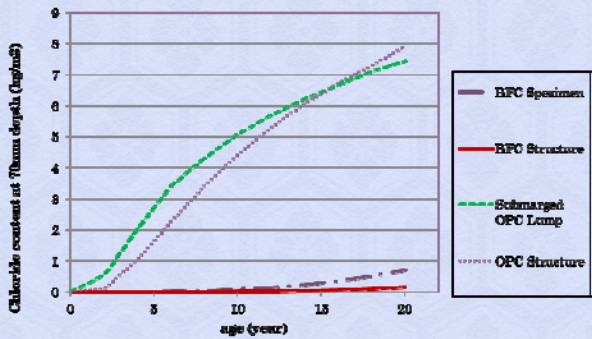
腐食発生限界塩化物イオン濃度: 1.2kg/m³
腐食速度: 松林モデル

解析結果

構造物	OPC製 栈橋	高炉セメント製 港湾構造物	BFC製 供試体
腐食発生 (年)	4.5	48.5	25.5
腐食ひび割れ発生 (年)	19.1	62.8	40.2

22

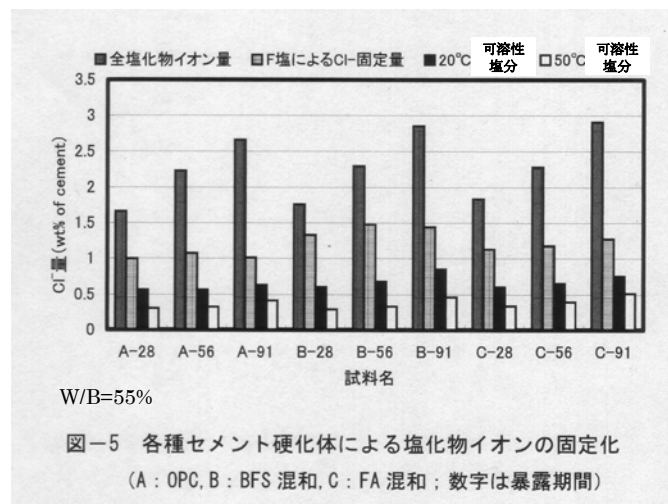
5.4 表面から70mmの深さにおける塩化物イオン量経年変化の予測



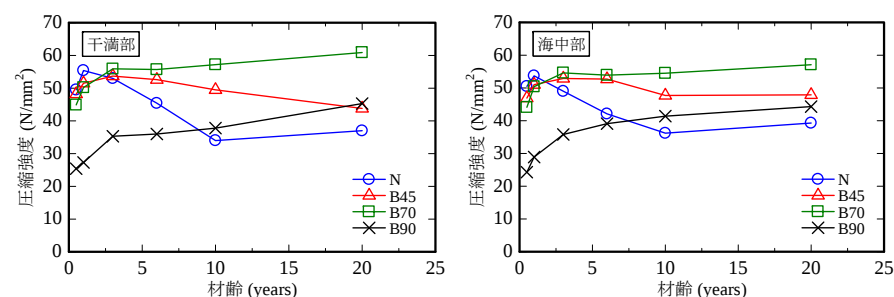
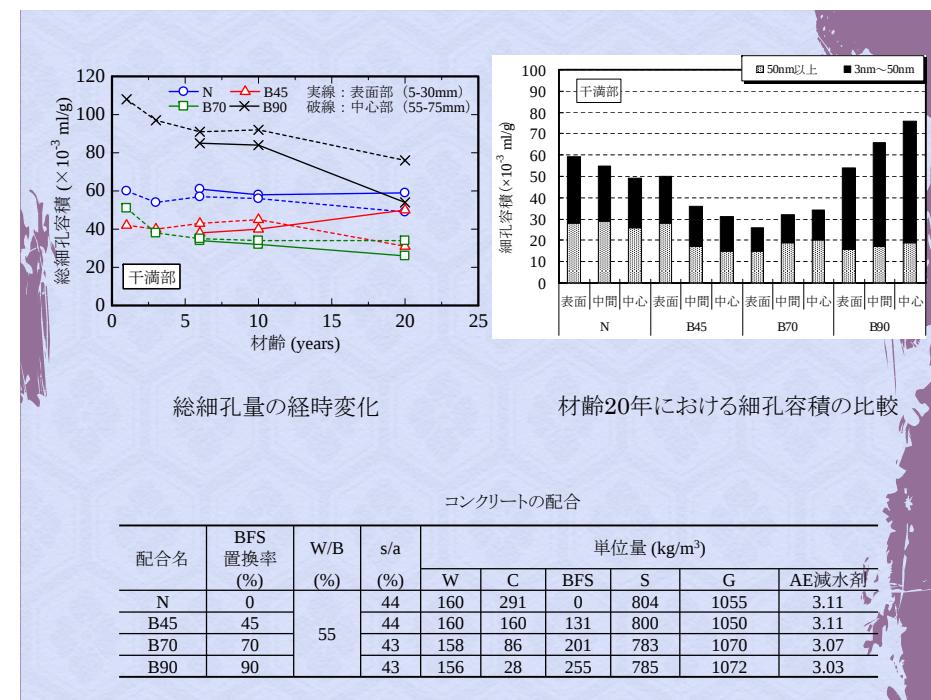
高炉セメントを使用した場合の方が、普通ポルトランドセメントを用いた場合よりも塩化物イオンの浸透が遅いことが分かる。

23

補足データ
BFCの拡散係数が小さな理由



坂井 悦郎, 吉田 夏樹, 真下 昌章, 渡邊 弘子, 各種セメントを用いたコンクリートの生物付着性状と塩化物イオンの固定, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.681-686, 2002



コンクリートの配合

配合名	BFS 置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					
				W	C	BFS	S	G	AE減水剤
N	0	55	44	160	291	0	804	1055	3.11
B45	45		44	160	160	131	800	1050	3.11
B70	70		43	158	86	201	783	1070	3.07
B90	90		43	156	28	255	785	1072	3.03

コンクリートの配合

配合名	BFS 置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					
				W	C	BFS	S	G	AE減水剤
N	0	55	44	160	291	0	804	1055	3.11
B45	45		44	160	160	131	800	1050	3.11
B70	70		43	158	86	201	783	1070	3.07
B90	90		43	156	28	255	785	1072	3.03

フレッシュコンクリートの試験結果

配合名	スランプ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)	凝結時間 (h-m)	
				始発	終結
N	7.0	4.3	5.84	6-45	9-30
B45	8.5	4.3	6.77	8-30	11-45
B70	8.5	4.3	4.32	9-30	16-45
B90	9.0	4.2	6.60	9-50	20-30

結論

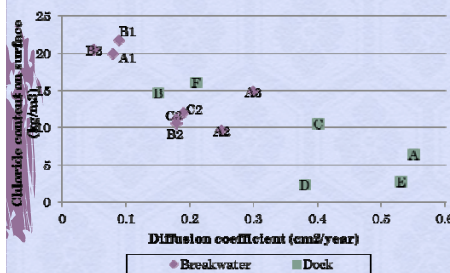
- ◆ BFCの表面塩化物イオン量はOPCのものと比較し、満潮時海水面付近では大きい値に、海面からの高さが高い場所では低い値になっていた。
- ◆ BFCの拡散係数 D_{ap} は、海水面からの高さによらずOPCの D_{ap} よりも小さく、その値の約3分の1であった。
- ◆ 海洋環境下の柱部材の基本かぶりを70mmという条件下で劣化予測を行った結果、OPCを用いた場合は20年以内に腐食ひび割れを生じるが、BFCを用いた場合では40年以上腐食ひび割れは発生しないという結果を得ることができた。

29

- ◆ ご清聴ありがとうございました

30

Chloride Content on Surface and Diffusion Coefficient in The Objective Structures of This Research

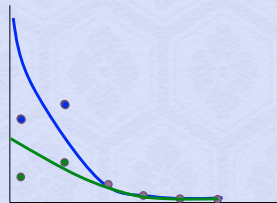


C_0 and D_{ap} was calculated.

The bigger C_0 was, the smaller D_{ap} became.

Big C_0 .
Small D_{ap} .

Small C_0 .
Big D_{ap} .



•The chloride contents in the area deeper than 5cm were small. Thus;

•When chloride contents in shallow area are big, the approximation curves have big curvatures. Thus D_{ap} is calculated small.

•When chloride contents in shallow area are small, the approximation curves have small curvatures. Thus D_{ap} is calculated big.

31